EINIGE KLIMATOLOGISCHE UND HYDROLOGISCHE DATEN FÜR DAS EMS-ESTUARIUM

R. DORRESTEIN *)

1. ATMOSPHÄRISCHES KLIMA

Das untersuchte Wassergebiet liegt in der gemäßigten Klimazone Westeuropas. Das Wetter ist gekennzeichnet durch seine große Veränderlichkeit, die durch die atlantischen Tiefdruckgebiete, welche vielmals mit der vorherrschenden südwestlichen und westlichen Luftströmung die Zone durchwandern, verursacht wird.

Nachstehend geben wir einige Daten über das Klima der beiden Stationen Borkum und Emden.

Lufttemperatur in Grad Celsius 1)	Borkum (Höhe 11m)	Emden (Höhe 8m)
Jahresmittel a)	8.6	8.5
Monatsmittel a), Januar	1.3	1.0
„ Februar	1.5	1.7
„ März	3.4	3.8
„ April	6.8	7.2
„ Mai	11.2	11.8
„ Juni	14.3	14.7
„ Juli	16.4	16.5
„ August	16.2	15.9
„ September	14.1	13.5
„ Oktober	9.7	9.1
„ November	5.2	4.7
„ Dezember	2.7	2.2
Mittleres tägliches Maximum, Januar a)	3.1	2.9
„ „ Minimum, Januar a)	0.0	−1.1
„ „ Maximum, Juli a)	19.4	20.5
„ „ Minimum, Juli a)	14.3	12.7
Höchstes Monatsmittel, Januar	5.6 a)	5.5 j)
Niedrigstes „ Januar	−2.7 a)	−3.7 j)
Höchstes „ Juli	18.8 a)	19.7 j)
Niedrigstes „ Juli	14.0 a)	13.8 j)

Mittlere Zahl, im Jahr, der Tage b):	Borkum	Emden
mit Temp.-Maximum von −10° C und darunter	0.0	0.0
mit Temp.-Maximum unter 0° C („Eistage")	13.1	16.1
mit Temp.-Minimum unter 0° C („Frosttage")	48.3	66.6
mit Temp.-Maximum von mindestens 30° C	0.3	1.3
mit Temp.-Maximum von mindestens 25°C („Sommertage")	6.0	13.1

Bewölkungsgrad 1) c) **)		Borkum	Emden
im Februar	niedrigste Monatswerte	8.9	9 5
im Mai	niedrigste Monatswerte	8.6	9.5
im September	niedrigste Monatswerte	10.0	9.5
im August	höchste Monatswerte	12.6	13.2
im Dezember	höchste Monatswerte	13.3	13.0
Monatsmittel, Mai (niedrigster Wert)		0.58	0.59
„ September (niedrigster Wert)		0.60	0.59

*) Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, de Bilt.

**) Die Bewölkung ist in [1]) in Zehnteln angegeben. Die dort gegebenen Zahlen sind durch 10 geteilt worden.

Mittlere Zahl, im Monat, der Tage:	Borkum (Höhe 4m)	Emden (Höhe 3m)
mit Tagesmittel unter 0.20 („heitere Tage")		
im April (höchster Wert in Borkum)	4.4	4.2
im Mai (höchster Wert in Emden)	4.2	4.6
im Dezember (niedrigster Wert)	1.2	1.8
mit Tagesmittel über 0.80 („trübe Tage")		
im Mai (niedrigster Wert)	8.1	8.6
im Dezember (höchster Wert)	16.1	16.3

Sonnenscheindauer, in Stunden pro Tag, bzw. in Prozenten der möglichen Dauer 1) d)	Emden
Jahresmittel	4.3 = 36%
Monatsmittel, Mai (höchste Werte)	7.4 = 47%
„ Dezember (niedrigste Werte)	1.2 = 15%

Mittlere Zahl der sonnenscheinlosen Tage im Monat:	
Juni (niedrigster Wert)	1.8
Dezember (höchster Wert)	17.6

Niederschlag Mittlere Summen in mm 2):	Borkum (Höhe 4m)	Emden (Höhe 3m
Jahr	724	737
März (niedrigster Monatswert)	41	44
August (höchster Monatswert)	86	87

Mittlere Zahl der Tage 1) d):	Borkum	Emden
mit mindestens 10.0 mm Niederschlag:		
im Jahr	16.2	
im Februar (niedrigster Monatswert)	0.4	
im August (höchster Monatswert)	2.6	
mit mindestens 1.0 mm Niederschlag:		
im Jahr	128	131
im Mai (niedrigster Monatswert)	8.6	9.5
im Dezember (höchster Monatswert)	13.3	13.0
mit Schneefall:		
im Jahr	18	22
im Januar (höchster Monatswert)	4.4	5.4
Mittlere Zahl der trockenen Tage (unter 0.1 mm): im Jahr	194	175
im Mai (höchster Monatswert)	19.0	17.0
im Dezember (niedrigster Monatswert)	13.9	11.8

Wind Häufigste Windrichtung (aus 8 Richtungen) 1) e):	Borkum	Emden
Jahr	SW	SW
Januar-März	SW	SW
April-Mai	NE	SW
Juni	NW	NW
Juli	NW	SW
August-Dezember	SW	SW

Mittlere Windstärke in Beaufort 3) f):	Borkum	Emden
Jahr	3.3	2.8
Januar (höchster Monatswert in Emden)	3.5	3.3
Oktober (höchster Monatswert in Borkum)	3.7	2.8
Juli (niedrigster Monatswert in Emden)	3.5	2.5
August (niedrigster Monatswert in Borkum)	2.9	2.6

Relative Dauer von Windstille in Prozenten 1) e):	Borkum	Emden
Jahr	2.0	4.4
Januar (niedrigster Monatswert in Emden)	2.4	3.2
Juni (niedrigster Monatswert in Borkum)	1.2	3.5
September (höchster Monatswert)	3.2	6.0

Mittlere Zahl der Tage mit Sturm (8 Beaufort und mehr) 3) g).	Borkum	Emden
im Jahr	18	19
im Januar (höchster Monatswert)	3	3
im Juni und Juli (niedrigste Monatswerte)	0.5	0.5

Die folgenden Winddaten wurden aus Schiffsbeobachtungen auf offener See abgeleitet.

Seegebiet bis 54° N, 6–8° E [4]) [h]). Mittlere Windstärke in Beaufort im Mai (niedrigster Monatswert) 3.1, im November und Dezember (höchste Monatswerte) 4.8.

Seegebiet bis 54° N, 5–7° E [5]). Häufigkeit von Sturm (8 Beaufort und mehr) in Prozenten aller Windbeobachtungen im Juni (niedrigster Monatswert) 1, im Dezember (höchster Monatswert) 13.

Wenn, in der wärmeren Jahreszeit, die gradientbedingte Luftströmung schwach ist, tritt der markante Wechsel von Land- und Seewind auf. Der auflandige Seewind pflegt dann gegen Mittag einzusetzen, erreicht seine stärkste Entwicklung am späten Nachmittag und schläft gegen Sonnenuntergang wieder ein. Von der zweiten Nachthälfte an bis in den Vormittag hinein weht dann ein ablandiger Landwind.

2. HYDROSPHÄRISCHES KLIMA

Das Wasser im Estuarium setzt sich zusammen aus Meerwasser, Niederschlagswasser und vom Land zugeführtem Wasser, das im Vergleich zum Meerwasser so gut wie Süßwasser ist. Der Niederschlag, im Mittel etwa 11 m^3/sec gleichmäßig über das ganze Estuariumgebiet (ca 500 km^2) verteilt, spielt eine untergeordnete Rolle. Weitaus die wichtigste Süßwasserquelle ist der Ems-Fluß; die Wassermengen, die bei Emden, Delfzijl, N. Statenzijl und anderen Orten ins Estuarium treten, sind relativ sehr gering. Die Eigenschaften des Wassers im Estuarium werden daher weitgehend bestimmt von den Eigenschaften des Meerwassers und des Emswassers, und deren Mischungsverhältnisse.

Daten über die mittlere Süßwasserzufuhr bei Pogum können nur annähernd gegeben werden. Die dort zugeführte Süßwassermenge ist sehr schwer meßbar wegen der Gezeiten und der Mischung mit Meerwasser. Die nächste Tabelle gibt Monatsmittel für die Summen der Abflüsse bei Rühle a.d. Ems und bei Herzlake a.d. Hase (Seitenfluß), Jahre 1941–1950 [6]) und 1951–1957 [*]). Die Variationen von Jahr zu Jahr sind beträchtlich. Da die Summe der Niederschlagsgebiete bis an diese beiden Pegel 7413 km^2 und das Niederschlagsgebiet bis Pogum 12480 km^2 beträgt, könnte man die mittleren Süßwasserzufuhren bei Pogum durch Multiplikation der in der Tabelle gegebenen Zahlen mit dem Faktor 12480 : 7413 = 1,68 schätzen.

Über das hydrosphärische Klima des Meerwassers in der Nähe der Ems-Mündung geben die langjährigen Beobachtungsreihen des Feuerschiffs „Borkumriff" Auskunft.[**]) Nachstehend geben wir Monatsmittel für Temperatur und Salzgehalt des Oberflächen- und des Bodenwassers bei diesem Feuerschiff [7]) [i]). Ein Salzgehalt vom 32.0 ‰ entspricht einer Chlorinität von 17.7 ‰, ein Salzgehalt von 33.0 ‰ einer Chlorinität von 18.3 ‰.

	Temperatur in Grad Celsius		Salzgehalt in Promille	
	Oberfl.	Boden	Oberfl.	Boden
Monatsmittel, Januar	4.9	5.2	33.1	33.2
„ Februar	4.0	4.5	33.0	33.2
„ März	4.4	4.2	32.9	33.0
„ April	6.2	6.0	32.9	32.9
„ Mai	9.6	8.9	32.9	32.9
„ Juni	13.2	12.8	32.9	33.0
„ Juli	16.2	15.7	32.8	33.0
„ August	17.5	17.1	33.0	33.2
„ September	16.5	16.5	33.3	33.5
„ Oktober	13.6	13.9	33.6	33.6
„ November	10.0	10.4	33.6	33.7
„ Dezember	6.8	7.0	33.3	33.4
Höchstes Monatsmittel, Februar	5.8		33.8	
Mittl. Maximum im Monat, Februar	5.0		33.7	
Mittl. Minimum im Monat, Februar	2.8		32.1	
Niedrigstes Monatsmittel, Februar	−0.2		31.6	
Höchstes Monatsmittel, August	18.8		34.4	
Mittl. Maximum im Monat, August	18.3		33.6	
Mittl. Minimum im Monat, August	16.5		32.2	
Niedrigstes Monatsmittel, August	15.7		32.0	

Langjährige Beobachtungsreihen von Temperatur, Salzgehalt oder anderen physiko-chemischen Eigenschaften des Wassers im Ems-Estuarium selbst liegen nicht vor.[***]) Gelegentlich sind aber Daten gesam-

Monat		Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Monatsmittel (m^3/sec)	41-50	120	142	101	58	31	24	32	26	21	33	69	93
	51-57	117	108	94	59	28	25	43	45	44	55	69	98

Jahresmittel 1941–1950: 62 m^3/sec.; 1951–1957: 65 m^3/sec.
Das Jahresmittel für die Süßwasserzufuhr der Ems bei Pogum dürfte also etwa 1,68 × 62 = 106 m^3/sec. betragen.

[*]) Nicht-amtliche, durch Umrechnung aus Daten anderer Pegel geschätzte Näherungswerte, bekommen vom Wasser- und Schiffahrtsamt Emden.

[**]) Der Standort dieses Schiffes war von 1921 bis 1939 53° 46' N, 6° 4' O. Die Wassertiefe war etwa 25 m. Seit 1954 ist die Position etwas östlicher: ungefähr 53° 45' N, 6° 24' O.

[***]) Nach schriftlicher Mitteilung von Wasser- und Schiffahrtsamt Emden sind jedoch bei Pogum seit 1950 regelmäßig Salzmessungen durchgeführt worden.

melt worden. In den Jahren 1951–1953 sind von deutscher Seite vier doppelte Forschungsfahrten gemacht worden, bei denen eine große Zahl chemischer und physiko-chemischer Eigenschaften von Wasserproben bestimmt wurden [8]). In den Jahren 1955–1957 wurden vom niederländischen „Rijkswaterstaat", Zweigstelle Baflo, mehrere Forschungsfahrten unternommen, bei denen Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt bestimmt wurden. Die Ergebnisse dieser Fahrten sind noch nicht veröffentlicht worden. Im Rahmen der noch zu veröffentlichenden Untersuchungen wurden hydrographische Daten in den Sommern von 1954 und 1956 gesammelt. In zwei der folgenden Arbeiten [9]) [10]) werden diese Daten gegeben, sowie auch zum Teil die früheren deutschen Ergebnisse und ein vorläufiger Auszug aus den Beobachtungsergebnissen des niederländischen „Rijkswaterstaat".

Was die Wassertemperaturen im inneren Teil des Estuariums betrifft, stellte es sich heraus, daß diese im Mittel eine gute Übereinstimmung mit den mittleren Lufttemperaturen in Emden zeigen (nur der Dollart scheint im Frühjahr und Sommer um einige Grade wärmer zu sein als die Luft in Emden). Ein Vergleich der Temperaturwerte von „Borkumriff" mit den im Abschnitt 1 gegebenen Monatsmitteln der Lufttemperatur in Emden kann also einen Eindruck der zu erwartenden Wassertemperaturen im Estuarium und ihrer Gradienten von innen nach außen geben. Ausgenommen in den Monaten April bis Juli, wenn die Luft schneller angewärmt wird als das Meerwasser, sind die Wassertemperaturen bei „Borkumriff" höher als die Lufttemperaturen in Emden und Borkum. Das ist im Einklang mit der Tatsache, daß das Meerwasser im Regelfall vom W und SW her, also aus wärmeren Gegenden zugeführt wird.

Eis wird in den meisten Wintern im Estuarium beobachtet [5]) [11]). Von 59 Wintern zwischen 1896 und 1956 waren in der Westerems bei Borkum nur 20 eisfrei, in der Ems bei Emden nur 9. Von den 30 Wintern 1921–1951 bei Delfzijl nur 7, bei N. Statenzijl nur 2. Die mittlere und maximale Zahl der Tage mit Eis in den obengenannten Eiswintern betrugen in der Westerems bei Borkum 18 und 85, in der Ems bei Emden 33 und 102, bei Delfzijl 33 und 83, bei N. Statenzijl 34 und 95. Die Schiffahrt bei Emden war behindert in 29 von 59 Wintern mit einer mittleren Dauer von 11 Tagen, bei Delfzijl in 20 von 30 Wintern mit einer mittleren Dauer von 23 Tagen.

3. DIE GEZEITEN

Weil die Gezeitenbewegung des Wassers eine vorherrschende Rolle spielt in der Zirkulation und Mischung von Flußwasser und Meerwasser mit ihren spezifischen gelösten und suspendierten Stoffen, ist es angebracht, hier einige Daten über die Gezeiten zu geben. Die aus der Nordsee ins Estuarium einlaufende Tide ist hauptsächlich eine halbtägige Haupt-Mondtide (M_2) mit einer Periode von 12 Stunden und 25 Minuten. Die mittleren Zeitunterschiede zwischen örtlichem Hochwasser (HW) und Niedrigwasser (NW) in einigen Orten und in Delfzijl, sowie die Wasserhöhen bei HW und NW in Bezug auf Normalnull (NN) oder Nieuw Amsterdams Peil (NAP) werden in der folgenden Tabelle wiedergegeben [12]) [13]) [6]).

Der mittlere Zeitunterschied von NW bis HW ist 5h 51m in Delfzijl, 6h 03m in Emden, von HW bis NW 6h 34m in Delfzijl, 6h 22m in Emden.

Die Unterschiede in den Vertikal-Amplituden, und daher auch in den Gezeitenstrom-Amplituden, bei Springzeit und bei Nippzeit sind relativ gering: die

	Abstand von Tonne am Westende Geisedamm (km)	Mittlerer Zeitunterschied für HW oder NW vor (−) oder nach (+) HW oder NW Delfzijl (Minuten)		Mittlere Wasserhöhen (m)			
				Springtide		Nipptide	
		HW	NW	HW	NW	HW	NW
Borkum (Südstrand)	40	−72	−79	+1.01	−1.47	+0.74	−1.07
Tonne WS Hund N (interpoliert)	20	−40	− 45				
Delfzijl	9	0	0	+1.36	−1.68	+1.00	−1.32
Emden	7	+37	+ 29	+1.42	−1.91	+1.11	−1.51
Pogum	13	+52	+ 50				
Leerort	34	+99	+136	+1.6	−1.1	+1.3	−0.9
N. Statenzijl	17	+56 (trocken bei NW)		+1.5	—	+1.2	—

relativen Abweichungen von den mittleren Werten sind ungefähr $^1/_8$ bis $^1/_7$.

Die Gezeitenströme folgen hauptsächlich den Richtungen der großen Fahrrinnen, aber in den Krümmungen kommen Abweichungen vor. Die Ströme kentern im allgemeinen ½ bis 1 Stunde nach örtlichem HW oder NW. Kurz vor und nach den Kenterungen kann die Richtung des Stromes abweichen von der des Fahrwassers. Die Höchstwerte der Gezeitenströme sind in den großen Rinnen zwischen Borkum und Emden meistens zwischen 1.0 und 1.5 m/sec.

Die Gezeiten werden von starken Winden in der Nähe und über die Nordsee beträchtlich beeinflußt. Winde aus westlichen und nördlichen Richtungen erhöhen die Wasserstände, Winde aus östlichen und südlichen Richtungen erniedrigen sie. Abweichungen von einigen Dezimetern treten häufig auf, Abweichungen von mehr als einem Meter kommen einige Male im Jahr vor.

Der Verfasser möchte Herrn Ing. SCHREIER vom Wasser- und Schiffahrtsamt Emden danken für seine genaue Lesung des Manuskripts, wodurch einige Fehler berichtigt werden konnten und für wertvolle Information über die Abflüsse der Ems.

SCHRIFTTUM

1) Reichsamt für Wetterdienst (1939), Klimakunde des Deutschen Reiches, Band II, Tabellen. Berlin.
2) Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland (1952), 60-jährige Mittelwerte des Niederschlags (1891-1950). Hamburg.
3) Meteorological Office, (1944), Weather in Home Waters and the North-Eastern Atlantic. M.O. 446 b. London. Volume II, Part 5, The North Sea. S. 132-133.
4) Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt (1954), Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer, Teil II. Hamburg.
5) Deutsches Hydrographisches Institut (1958), Nordsee-Handbuch, Östlicher Teil. Hamburg.
6) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Emsgebiet, Abflußjahre 1950 und 1951. Düsseldorf 1954 und 1958.
7) GOEDECKE, E. (1958) – Über Höhe und Eintrittszeit der Extreme sowie deren Schwankungen im mittleren Jahresgang von Temperatur, Salzgehalt und Dichte des Wassers in der Deutschen Bucht, Deutsche Hydrgr. Z. 11 (4), 137-165.
8) KÜHL, H. und H. MANN (1954) – Über die Hydrochemie der unteren Ems, Veröff. Inst. f. Meeresf. Bremerhaven III (1), 126-158.
9) DORRESTEIN, R. (1960) – On the distribution of salinity and some other properties of the water in the Ems-estuary, in Druck.
10) KAMPS, L. F., R. DORRESTEIN und L. OTTO (1960) – Note on the annual variation of salinity, temperature and oxygen content in the Ems-estuary, in Druck.
11) Rijkswaterstaat, IJsverslag winters 1939-40 ... 1952-53. Den Haag 1942 ... 1957. Verslag over de openbare werken, overzicht van de ijswaarnemingen langs de kusten van de Noordzee, usw. 1927-28 ... 1938-39. Den Haag 1929-1939.
12) Deutsches Hydrographisches Institut (jährlich), Gezeitentafeln, Europäische Gewässer, Hamburg.
13) Rijkswaterstaat (jährlich), Getijtafels voor Nederland, Den Haag.
a) Jahre 1881-1930.
b) Borkum: Jahre 1881-1921, 1926-1930. Emden: Jahre 1881-1915, 1919-1930.
c) Borkum: Jahre 1881-1930. Emden 1881-1915, 1919-1930.
d) Jahre 1891-1930.
e) Borkum: Jahre 1881-1921. Emden: Jahre 1881-1915, 1920-1925.
f) Borkum: Jahre 1931-1937. Emden: „10 Jahre".
g) Borkum: Jahre 1905-11, 1913, 1931-33. Emden: „10 Jahre".
h) Jahre 1906-1914 und 1920-1939.
i) Jahre 1921-1939.
j) Jahre 1851-1930.